

COMPUTACIÓN CIENTÍFICA PARA MEJORAR LA OPERACIÓN EN VERTEDEROS: UN CASO DE ESTUDIO

López Martínez, Ana¹; López Moreno, Ana Belén¹; Cuartas Hernández, Miguel²; Lobo García de Cortázar, Amaya¹

¹ Grupo de Ingeniería ambiental (GIA), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, Santander, España, lopezan@unican.es, lobo@unican.es

² Grupo de Tecnologías de la Información (GTI), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Avda. de los Castros s/n, Santander, España, miguel.cuartas@unican.es

Resumen

En este trabajo se presenta un caso de aplicación de la herramienta de simulación de vertederos MODUELO al análisis de distintas estrategias de operación de una instalación real. Se trata de un relleno sanitario de 16,3 Ha que está recibiendo, desde 2011, una cantidad media de 99.100 T de residuos al año, de los cuales casi la mitad (38,7 %) son rechazos del pretratamiento de residuos municipales. Desde 2016, además, se recibe una cantidad adicional de residuos, 160.800 T/año aproximadamente, no previstos, procedentes de la fracción resto de un área con recogida selectiva de 5 contenedores. Para evaluar posibles impactos y como ayuda para la toma de decisiones, se realiza un análisis detallado de las implicaciones que supone la recepción de esta nueva corriente de residuos en la explotación del vertedero, en cuanto a reducción de la vida útil de la instalación, contaminación emitida en el lixiviado, biogás generado y contaminación remanente al final del período de explotación. Esta información es la base para cuantificar el coste global asociado al cambio de estrategia de operación respecto a la prevista en proyecto.

Palabras clave: *vertedero, modelo de simulación, biodegradación, lixiviado, biogás.*

1. Introducción

1.1. Objetivos

El presente trabajo analiza las consecuencias de distintas estrategias de operación sobre un vertedero, con ayuda de una herramienta de simulación. Se presenta un caso real en el que se plantea la entrada de una nueva corriente de residuos diferente a la habitual en una instalación determinada. El nuevo vertido influye en la dinámica del vertedero y su gestión, con consecuencias técnicas, económicas y ambientales que habrá que considerar al establecer las condiciones de aceptación del mismo.

Ante la situación descrita, el objetivo es analizar el impacto de distintos escenarios de entrada de residuo sobre el vertedero estudiado, en cuanto a reducción de su vida útil, generación de lixiviados y generación de biogás.

1.2. Herramienta de simulación utilizada

MODUELO es un software de simulación dinámica de vertederos que viene desarrollando el Grupo de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria desde 1998 como ayuda para el diseño, operación y seguimiento de instalaciones reales (GIA, 1998). Las sucesivas versiones de la herramienta han sido contrastadas por aplicación en distintos casos teóricos, de laboratorio y campo.

Se trata de un programa de ordenador basado en la representación tridimensional del vertedero, formada por capas compuestas por celdas que se van activando a lo largo de la simulación según el historial/plan de explotación. Simulando los procesos hidrológicos, de biodegradación y asentamiento a lo largo del tiempo de manera simplificada, permite estimar, diariamente, el estado de humedad y composición del vertedero, caudal y contaminación orgánica de lixiviados, flujos a través del contorno, asientos y cantidad y composición del biogás generado.

2. Modelo del vertedero

El modelo de terreno del vertedero se creó a partir de la topografía digital del proyecto de construcción, siguiendo la forma de explotación (altura de capa de 4 m, 15 cm de cobertura mineral margo-arcillosa) establecida en el plan correspondiente. La capacidad total del vertedero simulado es de 1.605.375 m³ y se asume una densidad media en el momento de clausura, tras asentamientos, de 0,95 tn/m³. La operación comienza en el año 2011, y se asume que, una vez completada la capacidad máxima, se produce el sellado inmediato del residuo.

Los residuos cuyo depósito estaba contemplado en proyecto (“corriente prevista”) se modelizaron a partir de los datos del registro de explotación, que incluye las cantidades vertidas anualmente de cada tipo, clasificados con el código LER. Incluyen rechazos de plantas de recuperación de materiales reciclables a partir de recogida selectiva, rechazo de afino del residuo recogido como fracción resto (que incluye todo tipo de materiales) una vez pretratado biológicamente, escorias de un proceso de valorización de CDR (Combustible Derivado del Residuo) y residuos voluminosos. Para extender el modelo a los años futuros se asumió que cantidades y composición se mantendrán constantes, e iguales a las vertidas en 2015 (95.680 T/año).

El residuo adicional o “nueva corriente” procede de una recogida selectiva de 5 contenedores (Papel y Cartón, Plástico, Vidrio, Materia Orgánica y Fracción Resto). En los escenarios estudiados el vertedero recibe, desde abril de 2016, el residuo de la fracción resto en una cantidad de 14.300 T/mes.

La Tabla 1 muestra la diferencia de composición de las dos corrientes descritas. Se observa cómo la proporción de materia orgánica biodegradable (alimentos y poda y siega) es más elevada en la nueva corriente.

Tabla 1. Composición de los residuos vertidos (%)

Procedencia del residuo	Cartón	Goma-cuero	Inerte	Madera	Alimentos	Metal	Pañales y celulosa	Papel	Plástico	Poda y siega	Tetrapack	Textil	Vidrio
Prevista	5,3	0,2	32,0	11,9	21,6	5,2	1,9	6,7	5,3	1,7	0,3	2,8	5,1
Nueva	4,0	1,7	3,1	1,5	49,9	2,4	7,4	5,2	9,9	6,7	1,3	1,5	5,4

El modelo meteorológico se creó a partir de los datos procedentes de la estación meteorológica instalada en el propio vertedero.

Los escenarios considerados fueron los siguientes:

ESCENARIO 1: situación base o de diseño. Se recibe la corriente de residuos prevista en proyecto.

ESCENARIO 2: al escenario 1 se añade la “nueva corriente”, desde abril de 2016 hasta completar la capacidad del vertedero.

ESCENARIO 3: al escenario 1 se añade la “nueva corriente” sólo temporalmente, durante 3 meses desde abril de 2016.

3. Resultados

3.1. Vida útil del vertedero

La vida útil del vertedero varía en los diferentes escenarios planteados. En el Escenario 1 el vertedero quedaría completo en noviembre de 2026. En el Escenario 2 disminuiría en 6,8 años la vida útil del vertedero respecto al Escenario 1, colmatándose en enero de 2020. Y finalmente en el Escenario 3 disminuiría en 5,3 meses la vida útil respecto al Escenario 1, clausurándose en junio de 2026.

3.2 Resultados hidrológicos

Los resultados hidrológicos de los Escenarios 1 y 3 son similares, mientras que en el caso del Escenario 2 las variaciones son más notables. En la Figura 1 se aprecia cómo en el Escenario 2, al introducir mayor cantidad de residuo el volumen infiltrado anualmente aumenta significativamente: esto es debido a la utilización de mayor superficie de vertido que queda expuesta a la lluvia.

En el Escenario 3, donde sólo se recibe residuo adicional durante 3 meses, se duplica el volumen de lixiviado generado anualmente en los tres años posteriores a dicho depósito. En el Escenario 2, como era de esperar, el impacto es mucho mayor, ya que el volumen de lixiviado anual en los años de explotación se triplica frente al Escenario 1, como se aprecia en la Figura 2.

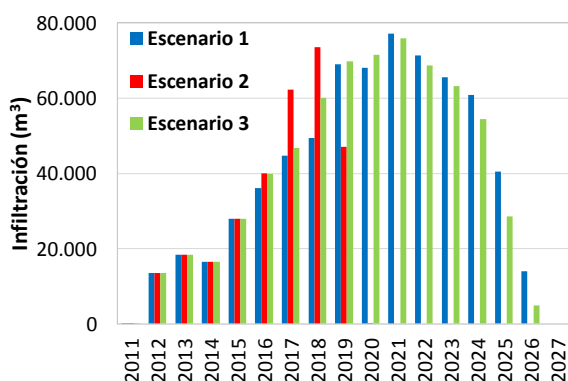


Figura 1. Infiltración anual en los años de explotación

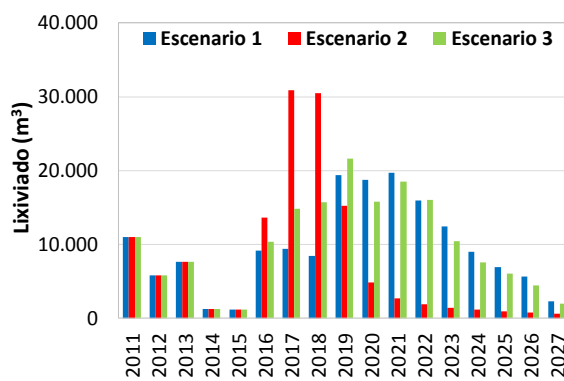


Figura 2 Lixiviado anual en los años de explotación

Estas grandes diferencias se deben, por un lado, a la mayor infiltración de agua de lluvia y, además, a la introducción de mayor contenido de humedad con el residuo. La Tabla 2 muestra que el residuo del Escenario 2 contiene cerca de un 7 % más de humedad e introduce en el vertedero 123.784 m³ más de agua que en el Escenario 1, justificando de esta forma la elevada cantidad de lixiviado generado durante el periodo de explotación. De igual forma, el residuo del Escenario 3 se vierte con 0,4 % más de humedad, lo que supone un volumen de 11.889 m³ mayor que en el Escenario 1.

Tabla 2. Propiedades hidrológicas del residuo vertido

ESCENARIOS	Contenido de humedad del residuo (%)	Cantidad de agua introducida con el residuo (m ³)	Lixiviado frente al volumen de infiltración (%)
1	17,34	263.723	25,73
2	24,12	387.507	45,93
3	17,74	275.612	27,18

3.3 Calidad del lixiviado

La Figura 3 muestra cómo en el Escenario 3 la concentración media de DBO y DQO en el periodo de explotación, desde el comienzo del vertido adicional, aumenta un 6 % sobre el Escenario 1. Sin embargo, una vez clausurado el vertedero las concentraciones se estabilizan de igual forma que en el escenario base. Por otro lado, la concentración media de NH₃ de todo el periodo aumenta casi un 9 % en comparación con la del Escenario 1.

El Escenario 3 supone un incremento temporal en las concentraciones de DQO y DBO que se atenuará con el tiempo al irse liberando rápidamente los compuestos y transformándose parcialmente en gas. Por otro lado, la concentración de NH₃ aumenta aproximadamente 120 mg/l en todo el periodo, tanto de explotación como de posclausura, frente a la concentración prevista del Escenario 1 (Figura 4). Esto último podría obligar a mejorar el tratamiento de reducción del nitrógeno previsto inicialmente.

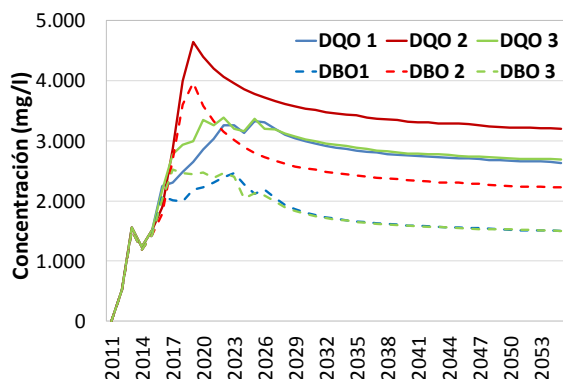


Figura 3. Concentración media anual DQO-DBO

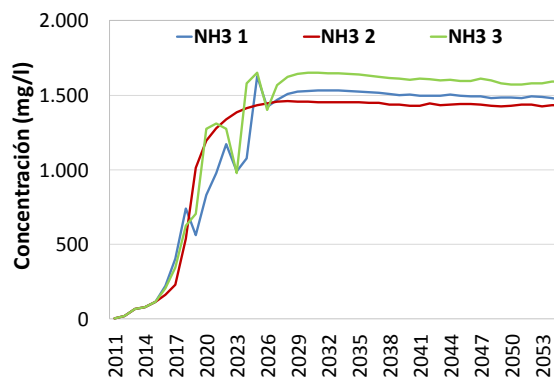


Figura 4. Concentración media anual NH3

El Escenario 2 es el que genera mayor impacto: la concentración media en el periodo de explotación de DBO aumenta un 41 % y la de DQO casi un 20 % en comparación con la del Escenario 1. Durante el periodo postclausura estos valores se van estabilizando por encima de los del Escenario 1, un 53 % en el caso de la DBO y un 24 % en la DQO. Estas cifras implican una elevada contaminación en el lixiviado a largo plazo, que haría necesario un riguroso tratamiento biológico para reducir la DBO y, a su vez la DQO, tanto en el periodo de explotación como a lo largo de todo el periodo postclausura. Por el contrario, el NH₃, aunque eleva su concentración en los años de explotación, después de la clausura se reduce un 5 % por debajo de la concentración base, por lo que este escenario no implicaría una modificación de su tratamiento.

En el Escenario 2, las concentraciones máximas de DQO, DBO y NH₃ en todo el periodo estudiado son de 5.000 mg/l, 4.600 mg/l y 1.500 mg/l respectivamente, lo que implica un aumento de la concentración punta sobre el Escenario 1 del 45% en la DQO, del 75 % en la DBO y una reducción del NH₃ del 18 %, siendo estos valores elevados dentro del rango de concentraciones en vertederos de residuos municipales. A su vez, el Escenario 3 muestra unas concentraciones máximas de DQO, DBO y NH₃ de 3.500 mg/l, 2.800 mg/l y 1.750 mg/l respectivamente, implicando un aumento de la concentración punta del Escenario 1 del 2 % en DQO, del 6% en DBO y una reducción del 1 % en NH₃. Al ser las concentraciones máximas previstas similares a las del

escenario base, el impacto sobre el sistema de depuración puede ser asumible: se produce un efecto similar al de los caudales, se adelanta en el tiempo el valor máximo a tratar, que es similar en ambos casos.

En cuanto a la carga de los distintos contaminantes en los diferentes escenarios, el efecto sigue el de la variación de volumen. La Figura 5 muestra cómo la carga estimada de DQO se eleva de forma desmesurada en los años de explotación, aumentando un 500 % en 2018 en el Escenario 2 y un 100 % en los años 2017 y 2018 del Escenario 3. Posteriormente se reduce, al igual que lo hace la cantidad de lixiviado, alcanzado en el Escenario 2 valores muy inferiores a los del escenario base.

Por el contrario, en la Figura 6 se observa cómo, aunque aumenta la carga de NH_3 en los años de explotación del Escenario 2 sobre los del escenario base, estos valores coinciden con los que se producen después en este escenario. Es decir, se adelanta la cantidad de NH_3 en el tiempo, no repercutiendo en el tratamiento de este.

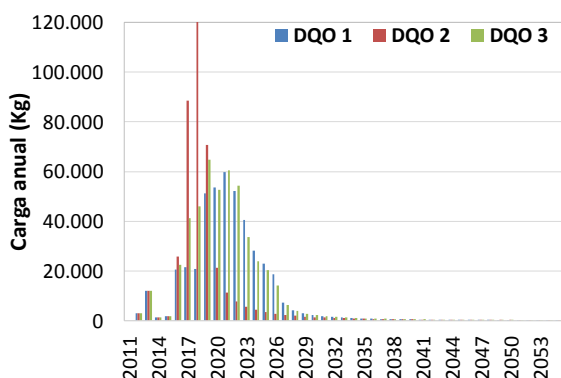


Figura 5. Carga anual DQO

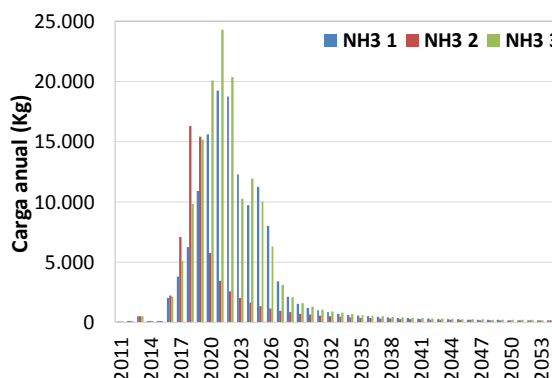


Figura 6. Carga anual NH_3

3.4. Biogás producido

Tanto en la generación de CH_4 como de CO_2 , se observa la misma tendencia que en la contaminación del lixiviado, es decir, un drástico aumento de volumen en los momentos de vertido del nuevo residuo.

Tanto la cantidad de CO_2 como la de CH_4 generado durante los años de explotación aumenta significativamente en ambos casos. En el caso del CH_4 este aumento supone un incremento del 100 % en el escenario 3 y de más de 900 % en el escenario 2.

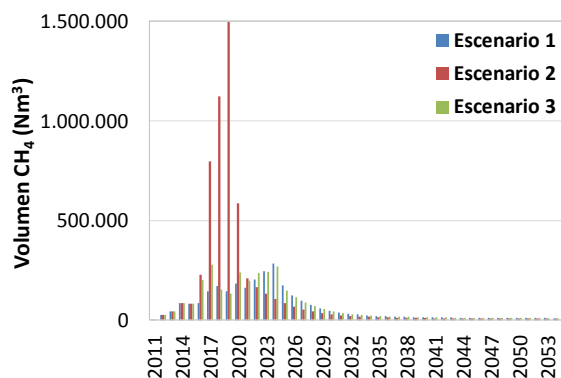


Figura 7. Volumen anual de CH_4 generado

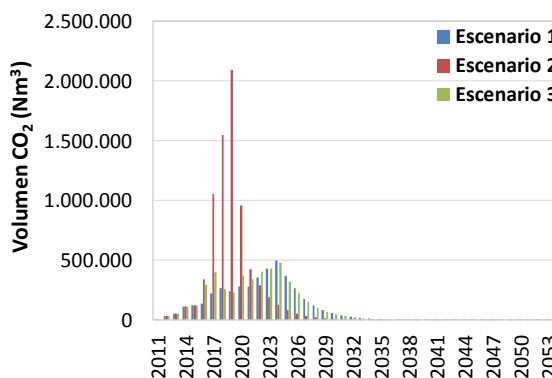


Figura 8. Volumen anual de CO_2 generado

4. Conclusiones

La nueva entrada de residuo supone un incremento mensual del 180 % de las entradas previstas. Esto reduciría el periodo de explotación previsto en 5 meses en el Escenario 3 (aporte del nuevo residuo durante 3 meses), y en casi 7 años en el Escenario 2 (aporte del nuevo residuo mantenido en el tiempo). Esta reducción de la vida útil obligará a acelerar la búsqueda de una nueva localización para la instalación de vertido que sustituirá a la actual y a adelantar las inversiones en su diseño y construcción.

En cuanto al comportamiento hidrológico del vertedero, el introducir un flujo mayor de residuos obliga a abrir con anterioridad más superficie de explotación, y por tanto a incrementar rápidamente la superficie de residuos sometida a infiltración. Esto, junto con un mayor aporte de agua en el residuo adicional, da lugar a mayor volumen de lixiviado. Se han estimado incrementos del 300 % en el Escenario 2 y del 100 % en el Escenario 3 respecto al volumen anual del Escenario 1 durante los periodos de vertido de este residuo adicional. Estas cantidades afectarían a las instalaciones de recepción y tratamiento de lixiviado, que deberían adaptar su capacidad de tratamiento en esos años. En cualquier caso, sólo el Escenario 2 obligaría a aumentar la capacidad de diseño considerablemente, pues en este caso el máximo volumen anual a tratar supera el máximo esperado (Escenario 1) en un 50%.

Por otro lado, la calidad del nuevo lixiviado también variaría, por doble razón: se incrementa el flujo de residuo aportado y sus características cambian. Se generan concentraciones y cargas DBO, DQO y NH_3 más elevadas que obligan a modificar los tratamientos biológicos y de reducción del nitrógeno para mantener las condiciones de vertido actuales. Una solución al incremento de contaminantes sería someter a pretratamiento al residuo adicional, para disminuir el porcentaje de materia orgánica (del 50% con que llegaría al 20% con que se deposita el previsto, pretratado) y, a su vez, la cantidad de agua entrante al vertedero. Para ello podría llegar a utilizarse la planta de tratamiento mecánico biológico anexa al vertedero, que en la actualidad tiene capacidad disponible.

En cuanto al volumen de biogás generado, tanto de CH_4 como de CO_2 , durante el periodo de explotación se eleva de manera dramática. Se producen incrementos de volumen generado respecto al Escenario base de 100 % en el Escenario 3 y de casi 900 % en el Escenario 2, causando de esta forma la necesidad de reforzar las instalaciones de captación, conducción y tratamiento de este gas. Por otro lado, el sellado interrumpe los procesos de degradación del residuo poco tiempo después del cierre, por falta de humedad. Esto implica, de producirse así, que gran parte del residuo orgánico vertido quedaría latente bajo el sellado, y por tanto suponiendo un riesgo contaminante en el largo plazo. Este riesgo será mayor en el Escenario 2, donde se ha vertido una mayor cantidad de material biodegradable.

En estos resultados tiene una gran influencia la hipótesis de sellado inmediatamente posterior al cierre del vertedero. En realidad, es esperable que se realice un sellado progresivo, con materiales que permitan cierta infiltración, lo que produciría mayores volúmenes de lixiviados durante el periodo de postclausura en todos los Escenarios, así como carga contaminante en los mismos y generación de biogás.

Referencias

GIA - Grupo de Ingeniería Ambiental (1998). Diseño de programas de gestión de residuos sólidos urbanos en Cantabria. Informe final de proyecto. Empresa de Residuos de Cantabria S.A. Universidad de Cantabria, Santander, España.